

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh závodního vozidla typu prototyp pro Shell Eco-Marathon

Design of Racing Car Type Prototype for the Shell Eco-Marathon

Student:

Bc. Petr Nováček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Anotace diplomové práce

Bc. Nováček Petr. Návrh závodního vozidla typu prototyp pro Shell Eco-Marathon.
Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 48 stran, Diplomová práce, vedoucí O. Učeň.

Diplomová práce se zabývá návrhem závodního vozidla typu prototyp pro Shell Eco-Marathon.

V první části byla popsána historie Shell Eco-Marathonu, závodní okruh a druh pohonu. Byly zde taky popsány druhy palivových článků.

Ve druhé části probíhá samotný návrh a výpočet parametrů pro zvolení jednotlivých částí vozidla. Vozidlo je navrhováno tak, aby byla dodržena jeho funkčnost a zároveň konstrukce měla nejmenší hmotnost a pohon nejlepší účinnost.

Annotation of master thesis

Bc. Nováček Petr. Design of Racing Car Type Prototype for the Shell Eco-Marathon
Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, 48 pages. Master thesis, head O. Učeň.

This thesis deals with the type of racing car prototype for the Shell Eco-Marathon. The first part described the history of the Shell Eco-Marathon, a racing circuit and means of propulsion. There were also described certain types of fuel cells. The second part deals with actual design and calculation of parameters and with selection of individual parts of the vehicle. The vehicle is designed to comply its functionality, with the lowest possible weight the construction can have.

Seznam použitého označení

d – vnitřní průměr trubky	[mm]
m – hmotnost vozidla s řidičem	[kg]
g – gravitační zrychlení	[m/s ²]
f – součinitel valivého odporu	[1]
b – barometrický tlak	[hPa]
b_0 – normální atmosférický tlak	[hPa]
h – nadmořská výška	[m]
e – základ přirozených logaritmů	[1]
v – rychlost vozidla	[m/s]
c_x – součinitel odporu vzduchu	[1]
v_I – výška vozidla	[m]
$š_I$ – šířka vozidla	[m]
r – poloměr kola	[m]
i_c – převodový poměr	[1]
a – zrychlení při rozjezdu	[m.s ²]
a_{50} – zrychlení před maximální rychlosti	[m.s ²]
r_k – rozvor kol	[mm]
h – výška těžiště vozidla	[mm]
l – rozvor kol	[mm]
l_p – vzdálenost přední osy kol od těžiště	[mm]
l_z – vzdálenost zadní osy kol od těžiště	[mm]
z_p – síla na přední nápravu	[N]
z_z – síla na zadní nápravu	[N]
z_{pk} – kolmá síla na přední kolo	[N]
z_{zk} – kolmá síla na zadní kolo	[N]
Z_k – radiální reakce kola	[N]
B_k – brzdná síla na kolo	[N]
F_y – boční vodící síla kola	[N]
B_{zadk} – podélná síla na zadní kolo	[N]
B_{padk} – podélná síla na přední kolo	[N]
B_{pad} – podélná síla působící na přední nápravu	[N]

B_{zad} – podélná síla působící na zadní nápravu	[N]
R – minimální poloměr zatáčky	[mm]
F – hnací síla na kolo se zvoleným motorem	[N]
M_{kz} – kroutící moment zvoleného elektromotoru	[N.m]
F_p – potřebná hnací síla na kolo	[N]
M_t – potřebný točivý moment z motoru	[N.m]
O_c – Celkový odpor pro jízdu po rovině	[N]
M_k – potřebný kroutící moment na kolo	[N.m]
S – čelní plocha vozidla	[m ²]
H_0 – základní hustota vzduchu	[kg/m ³]
O_p – odpor vzduchu	[N]
P_d – dynamický tlak	[kg.m ⁴ .s ⁻¹]
D – Vnější průměr trubky	[mm]
G – Tíhová síla	[N]
O_v – odpor valení	[N]
α – úhel sklonu vozovky	[°]
η_c – účinnost motoru	[1]
α_z – úhel natočení kol	[°]
φ_{pod} – součinitel adheze v podélném směru	[1]
$\varphi_{př}$ – součinitel adheze v příčném směru	[1]

Obsah diplomové práce

Seznam použitého označení	6
1. Úvod.....	10
2. Shell Eco-Marathon	11
2.1 O Shell Eco-Marathonu.....	11
2.2 EuroSpeedway Lausitz Automotodrom.....	13
2.3 Stručná pravidla soutěže.....	14
2.4 Zásadní pravidla pro prototyp.....	14
3. Vodík.....	16
3.1 Obecné.....	16
3.2 Základní fyzikální a chemické vlastnosti vodíku.....	16
3.3 Výskyt v přírodě.....	17
4. Palivové články.....	18
4.1 Zjednodušený popis funkce palivového článku.....	18
4.2 Typy palivových článků.....	19
5. Volba materiálu a profilu pro konstrukci rámu.....	22
6. Jízdní odpory.....	23
6.1 Odpor valení.....	23
6.2 Odpor vzduchu.....	23
6.3 Celkový odpor pro jízdu po rovině.....	25
7. Volba Elektromotoru.....	26
7.1 Potřebný kroutící moment na kolo.....	26
7.2 Přepoččet hodnot pro zvolený typ elektromotoru.....	27
8. Pohon.....	28
8.1 Popis zvolených součástí pohonu.....	29
8.1.1 Palivový článek.....	29
8.1.2 Tlaková láhev pro uskladnění vodíku.....	30
8.1.3 Baterie Li-Mn Crystalyte 36V/10Ah.....	31
8.1.4 Řídící jednotka E-BikeKit36-48V/22Ah.....	31
9. Řízení.....	32
9.1 Popis řízení.....	32
9.2 Výpočet minimálního poloměru zatáčky.....	34

10. Ostatní prvky vozidla.....	35
10.1 Uložení kola.....	35
10.2 Sedadlo.....	35
10.3 Spodní voština.....	36
10.4 Brzdový systém.....	36
11. Konstrukce rámu.....	38
12. Pevnostní výpočet rámu.....	39
12.1 Výpočet vstupních dat pro analýzu MKP.....	39
12.2 Výsledky výpočtu rámu pomocí MKP.....	42
12.3 Výsledky výpočtu závěsu kola pomocí MKP.....	44
13. Závěr	45
14. Seznam odborné literatury.....	46
15. Seznam příloh.....	48

1. Úvod

Automobily jsou v dnešní době nedílnou součástí našeho života a mnoho lidí si život bez nich nedokáže představit. Druhou stránkou věci je, že s ubývajícími zásobami ropy, je potřeba najít alternativní zdroj energie pro pohon vozidel. Touto myšlenkou se zabývá i Shell Eco-Marathon, který dává možnost studentům vymyslet něco nového v oblasti automobilů a následně si svůj návrh otestovat v praxi.

V této práci je proveden návrh vozidla, které využívá pro pohon alternativní zdroj paliva. Jsou zde provedeny nezbytné výpočty pro volbu pohonu vozidla a ostatních součástí. V závěrečné části je proveden pevnostní výpočet rámu vozidla pomocí metody konečných prvků.

2. Shell Eco-Marathon

2.1. O Shell Eco-Marathon

Historie Shell Eco-Marathonu začala v roce 1939 ve výzkumné laboratoři Shell ve Spojených státech jako přátelská sázka mezi vědci, kteří chtěli vědět, kdo ujede se svým vozidlem nejvíce kilometrů za galon paliva.

Ve své současné podobě Shell Eco-marathon Europe začal v roce 1985 ve Francii a přitahuje tisíce mladých inženýrů a vědců z dvaceti evropských zemí. V letošním roce se koná již 27. ročník.

Již od svého vzniku je cílem této akce navrhnout a postavit vozidlo, které ujede co nejděší vzdálenost s minimální spotřebou paliva. V průběhu let bylo dosaženo mnoha významných rekordů, a rok 2009 – kdy se konal jubilejní 25. ročník této soutěže a poprvé se akce konala mimo Francii – byl dalším, který lámal rekordy.



Obr. 1 – Hydrogenix [www.hydrogenix.vsb.cz]

Závodní okruh EuroSpeedway v německém Lausitzu se rozhodně osvědčil jako skvělá trať a místo pro stanovení nových rekordů. Nový rekord 4896,1 km na ekvivalent 1 litru paliva. Studenti se mohou závodu zúčastnit ve dvou kategoriích: v kategorii Prototypů, kde se úvahy o designu zaměřují na snižování odporu a maximalizaci efektivity, o čemž svědčí účastníci se moderní futuristická vozidla, a v kategorii UrbanConcept, ve které soutěží spíše “automobily”, jež vypadají jako běžná osobní vozidla. V roce 2010 se zúčastnilo 153 vozidel v kategorii Prototypů a 68 ve třídě UrbanConcept.

Obě kategorie zahrnují širokou škálu druhů pohonu, od nafty a benzínu až po alternativní paliva jako etanol, GTL (gas-to-liquid), vodík, solární energie a biopaliva. Pokud týmy dodržují bezpečnostní pravidla, je design jejich vozidla omezen pouze představivostí studentů. Shell Eco-marathon Europe není jen jedinečnou akademickou a technickou výzvou, ale také akcí, jež pomáhá posilovat takové hodnoty, jako je například týmová spolupráce mezi studenty. Příprava i vlastní závodění vyžaduje dobrou organizaci, silného týmového ducha a sdílenou odpovědnost všech členů týmu. V roce 2010 se poprvé Shell Eco-marathon stal opravdu celosvětovou iniciativou se závody, které se budou konat v Evropě, Americe a poprvé také v Asii. Zúčastnilo se jich přibližně 5 000 studentů a jejich profesorů z celého světa. V současné době je zaregistrováno celkem 393 vozidel z 316 škol. K dnešnímu dni je zastoupeno celkem 42 zemí.



Obr. 2. Záběry z Shell Eco-Marathon[www.faiteslepleindavenir.com]

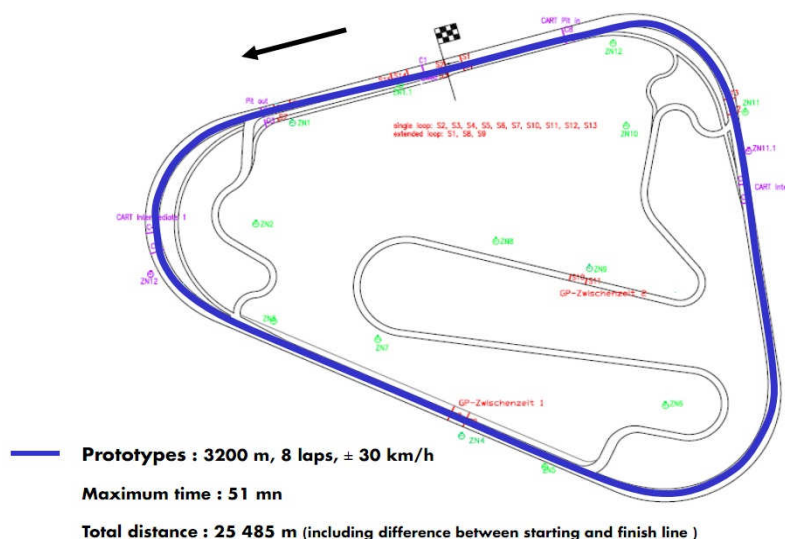
2.2 EuroSpeedway Lausitz Automotodrom

Okruh byl vybudován na místě bývalého povrchového dolu, což s sebou přináší jistá specifika, která jinde nenajdete. Okruh lze přehlédnout jedním pohledem bez toho, aby ho rušily terénní překážky (rozdíl v převýšení mezi jednotlivými částmi tratě je pouhých 4,5°) Součástí okruhu je monumentální tribuna, ze které je rozhled na celý okruh. Panorama okruhu dotváří rozlehlý větrný park.



Obr. 3. Schéma okruhu [www.moto-svet.cz]

Myšlenka na vybudování okruhu se zrodila v roce 1986 a setkala se s poměrně nepochopitelnými protesty. Každopádně po třinácti letech váhání následovala velice rychlá akce: pouhých osmnáct měsíců trvalo vybudování okruhu do provozuschopného stavu.



Obr. 4. Technické data okruhu [www.shell.com/ecomarathon]

2.3 Stručná pravidla soutěže

Jsou povoleny následující typy paliv:

- Bezolovnatý benzín,
- Motorová nafta
- Zkapalněný plyn (GTL)
- Mastné kyseliny (FAME)
- Ethanol E100

Z alternativních zdrojů:

- Vodík
- Solární energie
- „Plug-in“ elektřina

Soutěží se v kategoriích:

- Prototypy a Urban Concept

Cílem posádky je na závodním okruhu ujet osm kol (3200 m) minimální rychlostí 30 km/hod, za maximální čas 51 minut.

Technici Shell Eco-Marathonu posuzují paliva všech typů jednotně. Ať už jsou vozidla poháněna benzinem, naftou, zkapalněným plynem nebo alternativními energiemi jako vodík, biomasa nebo solární energie.

Aktuální výsledky spotřeby jsou přepočítávány na ekvivalentní hodnoty km/l s benzinem Shell Natural (95 oktanu). Nezávisle na použitém typu energie může být tedy „Velká cena“ za celkové vítězství udělena vozidlu s nejnižší spotřebou energie.

2.4 Zásadní pravidla pro "Prototyp"

- Karosérie nesmí obsahovat žádné externí prvky, které by mohly být nebezpečné pro ostatní členy týmu.
- Rovněž interiér nesmí obsahovat žádné objekty, které by mohly zranit řidiče.
- Okna nesmí být vyrobena z žádného materiálu, který by se mohl roztržít na ostré střepy. Doporučený materiál – polykarbonát (např. Lexan).

- Celkové rozměry vozidla:
 - výška vozidla by neměla překročit 100 cm
 - maximální šířka 130 cm
 - maximální délka 350 cm
 - rozvor minimálně 100 cm
- Maximální hmotnost vozidla (bez řidiče) musí být do 140 kg.
- Je zakázáno používat jakékoliv komerčně dostupné díly karoserie vozidla.
- Všechny mechanismy přístupu (např. dveře), musí být pevně připevněny ke karosérii vozidla (např. pomocí závěsů, posuvných lišt, atd.). Lepicí páska, suchý zip atd. nejsou pro tento účel povoleny.
- Vozidlo musí mít střešní krytinu řidiče.
- Čelní sklo je povinné.
- Motor a palivový systém musí být oddělen od řidiče přepážkou, která bude ohnivzdorná a nehořlavá z důvodu bezpečnosti řidiče při možném úniku pohonných látek a možném požáru. Rovněž musí být utěsněny všechny možné díry, aby neunikal kouř do prostoru, kde je řidič.
- Každé vozidlo musí být vybaveno hasicím přístrojem. Tento přístroj musí mít minimální hasicí schopnost 1 kg. Ruční hasicí přístroj musí být umístěn v prostoru pro posádku a být v případě požáru ihned k použití.
- Bezpečnostní pásy na sedadle řidiče musí být vybaveny s nejméně pěti montážními body pro udržení řidiče v jeho místě.
- Jakákoliv manipulace s koly je zakázána od okamžiku, kdy vozidlo přijíždí na startovní čáru, až do překročení cílové čáry.
- Brzdy musí mít 2 okruhy nezávisle na sobě. Při sešlápnutí jakéhokoliv okruhu musí být minimální brzdná síla taková, aby vozidlo stálo na místě při náklonu 20% stoupání.
- Výfukové plyny musí mít vývod mimo karoserii vozidla.
- Hladina akustického zvuku vozidla prototyp nesmí překročit hodnotu 90 dB při měření 4 m od vozidla.
- Nouzové vypnutí mechanismu, přístupné z exteriéru, musí být nainstalováno na všech vozidlech. Toto tlačítko musí označovat červená šipka nejméně 10cm dlouhá a 3cm široká v nejširším místě. Toto tlačítko musí zastavit motor a zamezit přístupu proudu od baterie do oběhu.

3. Vodík

3.1. Obecné

Vodík (chemická značka H latinsky Hydrogenium) je nejlehčí a nejjednodušší plyný chemický prvek, tvořící převážnou část hmoty ve vesmíru. Má široké praktické využití jako zdroj energie, redukční činidlo v chemické syntéze nebo metalurgii a také jako náplň meteorologických a poutových balonů a do 30. let 20. století i vzducholodí.

3.2. Základní fyzikální a chemické vlastnosti

Vodík je bezbarvý, lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je hořlavý, hoří namodralým plamenem, ale hoření nepodporuje. Je 14,38krát lehčí než vzduch a vede teplo 7krát lépe než vzduch. Vodík je za normální teploty stabilní, pouze s fluorem se slučuje za pokojové teploty. Je značně reaktivnější při zahřátí, především s kyslíkem a halogeny se slučuje velmi bouřlivě, i když pro spuštění této reakce je nutná inicializace (např. jiskra, která zapálí kyslíko-vodíkový plamen). Vodík je velmi málo rozpustný ve vodě, ale některé kovy ho pohlcují (nejlépe palladium).

Vodík vytváří sloučeniny se všemi prvky periodické tabulky s výjimkou vzácných plynů, zejména pak s uhlíkem, kyslíkem, sírou a dusíkem, které tvoří základní stavební jednotky života na Zemi.

Vodík je schopen tvořit zvláštní typ chemické vazby, nazývaný vodíková vazba nebo také vodíkový můstek, kdy vázaný atom vodíku vykazuje afinitu i k dalším atomům, s nimiž není poután klasickou chemickou vazbou. Mimořádně silná je vodíková vazba s atomy kyslíku, což vysvětluje anomální fyzikální vlastnosti vody (vysoký bod varu a tání atd.).

Zajímavou vlastností vodíku je jeho schopnost „rozpouštět“ se v některých kovech, např. v palladiu nebo platině, které poté fungují jako katalyzátory reakcí. Je to způsobeno tím, že má vodík velmi malé molekuly, které jsou schopny procházet různými materiály.

3.3. Výskyt v přírodě

Elementární vodík je na Zemi přítomen jen vzácně, nejvíce elementárního vodíku se vyskytuje v blízkosti sopek v sopečných plynech. Plynný vodík se v našem prostředí vyskytuje ve formě dvouatomových molekul H_2 , je však známo, že v mezihvězdném prostoru je přítomen z převážné části jako atomární vodík H. V zemské atmosféře se vyskytuje jen ve vyšších vrstvách a díky své mimořádně nízké hmotnosti postupně z atmosféry vyprchává. Elementární vodík je však jednou z podstatných složek zemního plynu, vyskytuje se i v ložiscích uhlí.

Ze sloučenin je nejvíce zastoupena voda, která jako moře a oceány pokrývá 2/3 zemského povrchu. Bylo vypočteno, že se vodík podílí na složení zemské kůry (včetně atmosféry a hydrosféry) 0,88 hmotnostními procenty a 15,5 atomárních procent.

Další významný zdroj vodíku představují organické sloučeniny. Vodík patří společně s uhlíkem, kyslíkem a dusíkem mezi tzv. biogenní prvky, které tvoří základní stavební kameny všech živých organizmů. Díky tomu se vodík vyskytuje prakticky ve všech sloučeninách tvořících nejvýznamnější surovinu současné energetiky a organické chemie – ropy.

Vodík je základním stavebním prvkem celého vesmíru, vyskytuje se jak ve všech svítících hvězdách, tak v mezigalaktickém prostoru. Podle současných měření se podílí ze 75 % na hmotě a dokonce z 90 % na počtu atomů přítomných ve vesmíru.

4. Palivové články

Palivový článek je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva s oxidačním činidlem na energii elektrickou. Oproti tepelným strojům s generátorem el. energie dosahují palivové články při výrobě elektrické energie vysokých účinností a to až 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost však dosahuje pouze (35 – 50) %, dle zatížení a typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána zejména tím, že přeměna energie je přímá, nikoliv přes mezistupně (tepelnou a mechanickou), jako je tomu např. u spalovacích motorů.

V současné době je vyvíjeno pět typů palivových článků lišících se především chemickým složením elektrolytu, provozními teplotami a možným palivem. Nízkoteplotní palivové články spalují s kyslíkem (většinou ze vzduchu) vodík nebo methanol, vysokoteplotní články mohou spalovat i některá konvenční uhlovodíková paliva. Jednotlivé typy článků vzhledem k rozdílným provozním parametrům nacházejí uplatnění ve velmi odlišných aplikacích. Nízkoteplotní palivové články jsou dominantně využívány v mobilních aplikacích k výrobě elektrické energie, vysokoteplotní články naopak převládají v kombinované výrobě tepla a elektrické energie v aplikacích stacionárních.

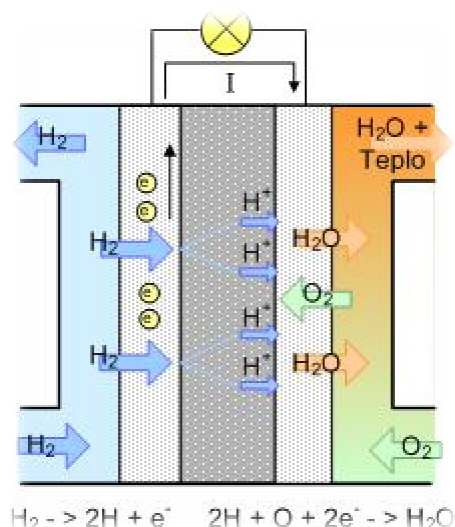
Soubor dvou elektrod a elektrolytu je nazýván palivovou celou, palivovým článkem obvykle označujeme soubor palivových cel. (analogie s chemickými bateriemi). Palivové články jsou obvykle sestaveny z palivových cel v bipolárním uspořádání s ohledem na požadované výstupní parametry článku (především napětí a výkon).

4.1. Zjednodušený popis principu funkce palivového článku

Princip palivového článku lze nejnázorněji objasnit na palivovém článku s polymerní membránou. Tento článek se skládá ze dvou elektrod na jejichž povrchu se nachází slabá vrstva uhlíku obsahující malé množství platiny, která zde slouží jako katalyzátor. Elektrody jsou od sebe odděleny tenkou polymerní membránou, která propouští kladně nabité ionty - protony (u katexové membrány).

Vodík je přiváděn na anodu, kde na vrstvě katalyzátoru dochází k jeho disociaci na kladné ionty (protony) a elektrony. Protony procházejí skrze polymerní vrstvu, elektrony jsou nuceny procházet externím okruhem a mohou tedy konat užitečnou práci. Na katodě pak sloučením dvou kladně nabitých vodíkových iontů (protonů), dvou elektronů a atomu kyslíku vzniká voda (vzhledem k provozní teplotě palivového

článku obvykle v podobě páry). Na stranu katody je přiváděn čistý kyslík nebo častěji kyslík jako součást vzduchu.



Obr. 5 - Schématické znázornění palivového článku [www.elektrina.cz]

4.2. Typy palivových článků

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Jako elektrolyt slouží iontoměničová polymerní membrána (většinou na bázi kyselých fluorovaných polymerů), která je výborným protonovým vodičem. Vzhledem k tomu, že jedinou kapalinou v tomto typu palivového článku je voda, jsou minimalizovány problémy s korozí.

Pro efektivní provoz je klíčovým problémem tzv. vodní režim; podmínky musí být nastaveny tak, aby se produkt - voda - neodpařovala rychleji než je produkována. Vysoký stupeň hydratace membrány je podmínkou pro její dobrou protonovou vodivost. Operační teplota je limitována použitým polymerem, většinou je nižší než 120 °C (ačkoliv v současné době se provádí testy s novými materiály až k 200 °C). Palivem je v tomto případě čistý vodík nebo methanol (DMFC - Direct Methanol FC, používaný většinou v přenosných aplikacích). Jako katalyzátor se využívá především Platina. Pro tento typ katalyzátorů je významným jedem kysličník uhličitý.



Obr. 6 - Palivový článek PEMFC od firmy Ballard [www.ballard.com]

Alkaline Fuel Cell (AFC)

Elektrolytem je 85 % hydroxid draselný pro palivové články pracující při vyšších teplotách ($\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$), pro nižší teploty ($< 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) se používá (35 - 50) %. Elektrolyt je udržován v porézním materiálu, kterým je ve většině případů azbest. Výhodou tohoto typu palivových článků je možnost využití širokého spektra (levných) katalyzátorů. Největším problémem je čistota paliva a oxidačního činidla, kdy i malé množství CO_2 způsobuje znehodnocování elektrolytu (reakcí CO_2 s KOH za vzniku K_2CO_3). CO je stejně jako v případě PEMFC katalytickým jedem.

Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

Tento druh palivového článku pracuje při $(150 - 220)\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž jako elektrolyt používá 100% kyselinu fosforečnou. Kyselina fosforečná je stabilnější než ostatní běžné kyseliny, proto je schopná pracovat v širokém rozsahu teplot. Navíc použití 100% kyseliny minimalizuje parciální tlak vodních par, takže udržet správný vodní režim není složité.

Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

Elektrolytem je většinou směs alkalických uhličitánů, které jsou zadržovány v matrixu LiAlO_2 . Provozní teplota je od 500 °C do 700 °C; v tomto rozmezí tvoří směs uhličitánů vysoce vodivou roztavenou sůl, ve které zprostředkovávají vodivost uhličitánové ionty. Díky vysokým teplotám není nutné používat vzácné kovy pro katalyzátory, využívá se Ni pro anodu a NiO pro katodu.

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

Tento typ palivového článku je výjimečný tím, že jeho elektrolyt je pevný, neporézní kovový oxid, používá se Y_2O_3 stabilizovaný ZrO_2 . Pracovní teplota je (600-1000) °C, přičemž vodivost zprostředkovávají kyslíkové anionty. Materiálem pro anodu je Co-ZrO_2 nebo Ni-ZrO_2 , pro katodu se používá LaMnO_3 dopovaný stronciem. Skutečnost, že elektrolyt je pevný, má velký význam pro zjednodušení systému, vyskytují se zde na rozdíl od všech ostatních typů palivových článků pouze dvě fáze, pevná a plynná.

5. Volba materiálu a profilu pro konstrukci rámu

Materiál byl zvolen hliník EN AW-6061 – AlMgSi0,5 (ČSN 424401). V prvních počátcích bylo uvažováno o stavbě rámu z uhlíkových vláken, ale z důvodu špatné dostupnosti materiálu a špatné tvarovatelnosti byl vybrán hliník, který se používá pro výrobu rámu cyklistických kol. Jako dodavatel materiálu pro rám byla zvolena firma PROAL s.r.o

Tab. 1 – Fyzikální vlastnosti materiálu

Fyzikální vlastnosti	
Hustota	2,7 kg/dm ³
Tepelná vodivost	150 - 170 W/mK
Elektrická vodivost	23 - 26 MS/m
Koeficient tepelné roztažnosti (20 - 100°C)	23,4.10 ⁻⁶ K ⁻¹
Modul pružnosti	69 000 MPa

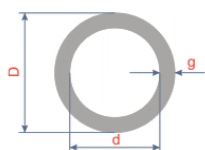
Charakteristika materiálu EN AW-6061 – AlMgSi0,5 (ČSN 424401)

Konstrukční materiál s dobrou tvárností, lešitelností a odolností proti korozi, dobrou schopností elektrolytické oxidace, vhodný ke svařování. Plastické vlastnosti v žíhaném stavu jsou dobré, ve vytvrzeném stavu vyhovující. Tvářitelnost za teplot 450 - 500°C je velmi dobrá. Korozní odolnost je velmi dobrá, neprojevuje se sklon ke koroznímu praskání pod napětím. Obrobitelnost řeznými nástroji je nevyhovující v žíhaném stavu a vyhovující ve vytvrzeném stavu.

Použití: Součásti se střední pevností dlouhodobě pracující při teplotách 50 až -70°C, u nichž se požaduje dobrá technologičnost, korozní odolnost a dekorativní vzhled. Použití na letadla, vozidla, ve stavebnictví, potravinářství, pro jemnou mechaniku (např. kabiny letadel a vrtulníků, krytiny, intarzie, rámy dveří, přepážky, eskalátory, nábytek, nýtované mosty, mostové jeřáby, stožáry).

Zvolený profil

Tab. 2 – Rozměry profilu



D [mm]	d [mm]	g [mm]	hmotnost 1m trubky [kg]
30	24	3	0,69

6. Jízdní odpory

6.1. Odpor valení

Odpor valení je vyvolán deformací pneumatiky. Závisí nejen na hmotnosti vozidla, ale také na kvalitě a druhu pneumatik a jejich nahuštění.

Odpor valení při jízdě po rovině vypočtu podle vztahu:

$$O_v = G \cdot f = m \cdot g \cdot f = 120 \cdot 9,81 \cdot 0,0075 = 8,829 \text{ N} \quad (6.1)$$

Odpor valení při stoupání $4,5^\circ$ vypočtu podle vztahu:

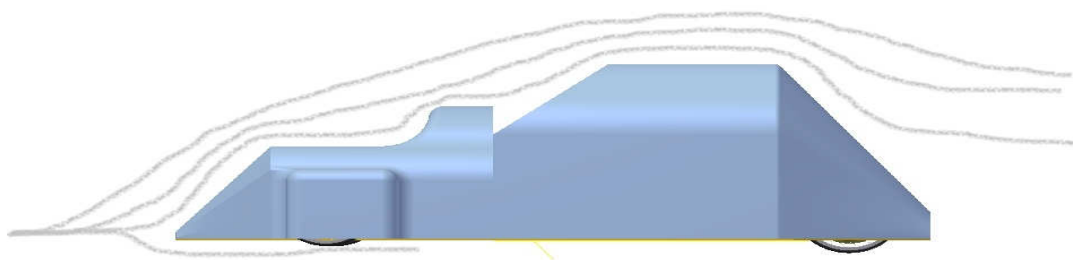
$$\begin{aligned} O_v &= G \cdot f + (G \cdot f \cdot \sin \alpha) = m \cdot g \cdot f + (m \cdot g \cdot f \cdot \sin 4,5) \\ O_v &= 120 \cdot 9,81 \cdot 0,0075 + (120 \cdot 9,81 \cdot 0,0075 \cdot \sin 4,5) \\ O_v &= 9,52 \text{ N} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Kde:

- $m = 120 \text{ [kg]}$ – Hmotnost auta s řidičem
- $f = 0,0075 \text{ [1]}$ součinitel valivého odporu (Pro betonovou vozovku a dobře nahuštěnou pneumatiku (galusku)
- α - úhel sklonu vozovky [°]

6.2. Odpor vzduchu

Čím nižší je aerodynamický odpor vzduchu vozidla, tím hospodárnější je jeho provoz. Vedle hodnoty c_x (součinitel aerodynamického odporu vzduchu) ovlivňuje skutečný odpor vzduchu vozidla jeho čelní plocha a okamžitá rychlost jízdy. Hodnota c_x je měřítkem kvality tvarů vozu z hlediska obtékání jeho karoserie vzduchem. U moderních automobilů se hodnota c_x pohybuje kolem 0,3.



Obr. 8 – Proudění vzduchu kolem vozidla

Barometrický tlak v nadmořské výšce 200m při teplotě 20°C

$$b = b_0 (1 - k \cdot t) e^{\frac{(1-k \cdot t)(h-21)}{7988}}$$
$$b = 1013,25 (1 - 0,00367 \cdot 20) e^{\frac{(1-0,00367 \cdot 20)(200-21)}{7988}} = 920 \text{ hPa} \quad (6.3)$$

Hustota vzduchu

$$H = \frac{H_0}{1 + k \cdot t} \cdot \frac{b}{b_0}$$
$$H = \frac{1,293}{1 + 0,00367 \cdot 20} \cdot \frac{920}{1013,25} = 1,094 \text{ kg/m}^3 \quad (6.4)$$

Kde :

- g ... gravitační zrychlení [m/s²]
- e ... základ přirozených logaritmů [1]
- t ... teplota vzduchu [°C]
- b_0 ... normální atmosférický tlak [hPa]
- h ... nadmořská výška [m]
- H_0 ... základní hustota vzduchu [kg/m³]
- k ... konstanta

Dynamický tlak

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot H \cdot v^2$$
$$P_d = \frac{1}{2} \cdot 1,094 \cdot 13,9^2 = 105,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.5)$$

Odpor vzduchu

$$O_p = P_d \cdot c_x \cdot S$$
$$O_p = 105,7 \cdot 0,2 \cdot 0,58 = 12,3 \text{ N} \quad (6.6)$$

Kde:

- P_d ...dynamický tlak [kg.m⁴.s⁻¹]
 - v rychlost vozidla [m.s⁻¹]
 - c_x Součinitel odporu vzduchu [1]
- (Pro přesnou hodnotu by bylo zapotřebí měření v aerodynamickém tunelu)
- c_x – volím odhadem 0,2 [1]
- S ...čelní plocha vozidla [m²]

Čelní plocha vozidla

$$S = (0,7 \div 0,85) \cdot \check{s}_1 \cdot v_1$$
$$S = 0,8 \cdot 0,93 \cdot 0,78 = 0,58 \, m^2 \quad (6.7)$$

Kde :

- v_1výška vozidla , $v = 0,78$ [m]
- \check{s}_1 ...šířka vozidla , $\check{s} = 0,93$ [m]

6.3. Celkový odpor pro jízdu po rovině

$$O_c = O_v + O_p$$
$$O_c = 9,52 + 12,3 = 21,82 \, N \quad (6.8)$$

7. Volba elektromotoru

Při volbě elektromotoru byl brán v potaz celkový odpor pro jízdu po rovině při zadané rychlosti 50 km/hod. Z toho plyne celková hnací síla na jedno kolo 21,82 N.

7.1. Potřebný kroutící moment na kolo

$$M_k = F_p \cdot r = 21,82 \cdot 0,163 = \underline{3,6} \text{ N.m} \quad (7.1)$$

Kde :

- $F_p = 21,82 \text{ [N]}$... potřebná hnací síla na kolo
- $r = 0,163 \text{ [m]}$... poloměr kola

Na základě vypočtené hodnoty potřebného kroutícího momentu na kolo byl zvolen elektromotor E-BikeKit 500-750W, 36/48V s následujícími parametry.

Tab.3 – Technické parametry motoru

Kroutící moment [N.m]	Výkon [W]	Napětí [V]	Obvodová rychlost na průměru 300mm [km/hod]	Hmotnost [kg]
18,2	500	36	45	6,5

Při návrhu elektromotoru byla dále brána v potaz nejmenší hmotnost, dostatečný výkon a jednoduchá konstrukce.

Firma E-BikeKit dodává elektromotory a kompletní příslušenství pro stavbu elektrických kol. Jejich motory se vyznačují možností vypletení přímo do ráfku kola. K motoru není zapotřebí použití převodu, z důvodu digitálního řízení přes řídicí jednotku. Motor je přizpůsoben pro uložení do vidlice kola.

7.2. Přepočet hodnot pro zvolený typ elektromotoru



Obr. 9 - Zvolený motor od firmy E-bike kit [www.e-bikekit.com]

Hnací síla na kolo při jmenovitém kroutícím momentu 18,2 N.m

$$F = \frac{M_{kz}}{r} = \frac{18,2}{0,163} = 111,7 \text{ N} \quad (7.2)$$

Kde:

- M_{kz} ... kroutící moment zvoleného elektromotoru [N.m]

Zrychlení

Možné zrychlení při jízdě po rovině :

Při rozjezdu

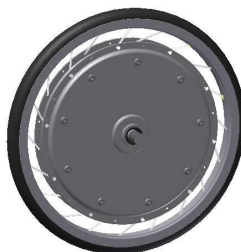
$$m \cdot a = F \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{111,7}{120} = 0,93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (7.3)$$

Kde :

- F ... hnací síla na kolo [N]

Těsně před maximální rychlostí:

$$m \cdot a_{50} = F_{50} \Rightarrow a_{50} = \frac{F_{50}}{m} = \frac{F - F_p}{m} = \frac{111,7 - 21,82}{120} = 0,749 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (7.4)$$

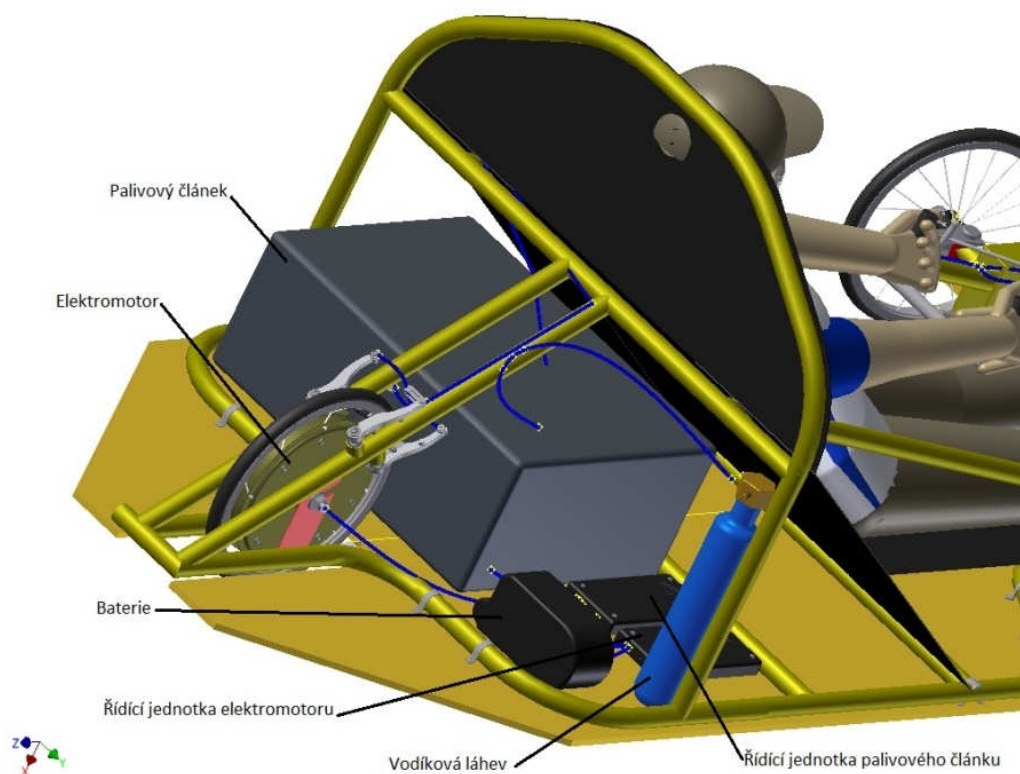


Obr.10 - Ukázka umístění motoru v ráfku

8. Pohon

V dnešním světě je kladen důraz na snižování emisních plynů, co nejnížší spotřebu paliva a postupný přechod na alternativní zdroje. Právě proto byl pro pohon vozidla vybrán vodík, respektive elektřina. Všechny automobilky se snaží sestavit vozidlo na vodíkový pohon, které by bylo stejně kvalitní jako dnešní vozidla a jeho obsluha byla jednoduchá. Pokud bude vynalezena ekologická výroba vodíku, která v dnešní době není známa, tak bude vodík palivem budoucnosti, protože jeho energie se dá uchovat po delší dobu na rozdíl od elektrické energie a jeho spalováním se neprodukuje žádné emisní plyny.

Zdrojem elektrické energie je palivový článek, který přeměňuje chemickou energii vodíku dodávaného z tlakové láhve. Z palivového článku vystupuje elektrická energie přes řídicí jednotku do řídicí jednotky elektromotoru a zároveň do baterie, která slouží pro pokrytí elektrických špiček. Na řídicí jednotku motoru je dále připojen elektromotor, který je vypleten v ráfku zadního kola, baterie, brzdové páčky s rekuperací, regulátor otáček a STOP tlačítko pro odpojení celého pohonu.



Obr. 11 - Uspořádání pohonu

8.2. Popis zvolených součástí pohonu

8.2.1. Palivový článek

Palivový článek je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva s oxidačním činidlem na energii elektrickou. Oproti tepelným strojům s generátorem el. energie dosahují palivové články při výrobě elektrické energie vysokých účinností a to až 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost však dosahuje pouze (35 – 50) %, dle zatížení a typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána zejména tím, že přeměna energie je přímá, nikoliv přes mezistupně (tepelnou a mechanickou), jako je tomu např. u spalovacích motorů.

Palivový článek Nexa 1200 – 1,2kW Fuel Cell systém

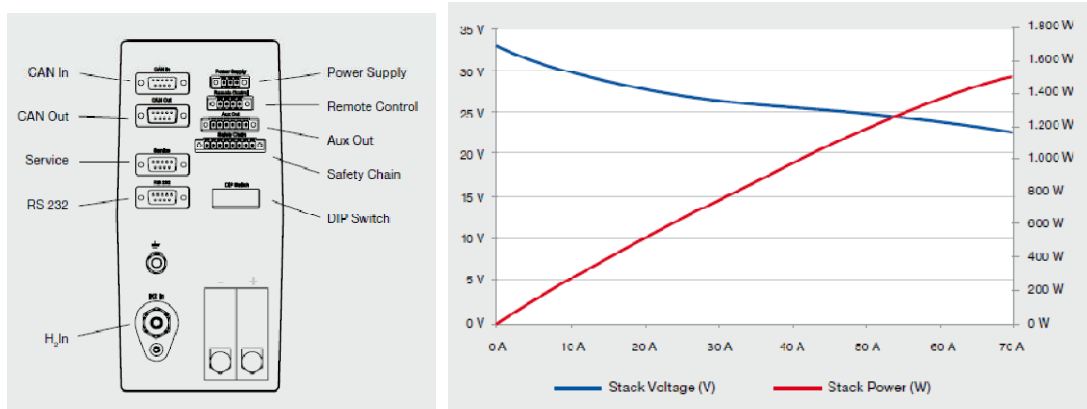
Plně integrovaný modul má uzavřené, robustní a ploché provedení. Profil kolejnice integrované do krytu nabízí jednoduché a variabilní připevňovací možnosti. Vzduchovody jsou variabilně nastavitelné



Obr.12 – Palivový článek Nexa 1200 [www.heliocentris.com]

Tab. 4 – Technické data Nexa 1200

Technické data Nexa 1200	
Rozměry (V x Š x H)	220 x 400 x 550 mm
Hmotnost	22 kg
Minimální čistota vodíku	99,99%
Primární tlak	1 - 15 bar
Spotřeba vodíku	15 slpm
Jmenovitý výkon	1200 W
Výstupní napětí	18 - 36 V
Výstupní proud	max. 60 A



Obr. 13 – Připojovací panel palivového článku a zátěžová křivka [www.heliocentris.com]

8.2.2. Tlaková láhev pro uskladnění vodíku

Tlaková láhev umožňuje bezpečné a snadné přechodné uskladnění většího množství vodíku v kompaktním tvaru. Je ideálním řešením zejména pro systémy s omezeným prostorem instalace. Tuto tlaková láhev lze snadno a bezpečně naplnit při tlacích od 10 do 17 bar. Integrovaná rychlospojka umožňuje snadné připojení a odpojení bez úniku vodíku.



Tab. 5 – Technické data vodíkové láhve

Technické data - Low-pressure metal hydride canisters	
Skladovací kapacita	250 sl
Výstup	1,7 sl/min
Hmotnost	2,4 kg
Rozměry	φ64 x 365 mm
Plnicí tlak	10 - 17 bar
Doba plnění	1 hodina

8.2.3. Baterie Li-Mn Crystalyte 36V/10Ah

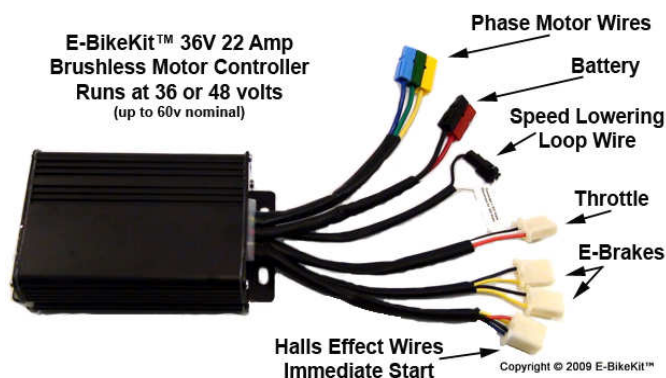
Jedná se 36V/10Ah baterii typu Li-Mn v plastovém pouzdře, která se dá uchytit k rámu pomocí dvou šroubů. Hmotnost baterie činí pouze 2,9 kg a její rozměry jsou 180 mm x 100 mm x 80 mm.



Obr. 14 – Baterie LI-Mn Crystalyte 36V/10Ah [www.goldenmotor.cz]

8.2.4. Řídící jednotka E-BikeKit 36-48V/22 Ah

Jedná se o univerzální řídící jednotku pro všechny motory od americké firmy E-Bike Kit s externím vypínačem napájení. Jednotka má omezovač rychlosti, v zapnutém stavu je výkon motoru max. 200W, při vypnutém stavu je max. výkon až 1000 W.



Obr. 15 – Řídící jednotka [www.goldenmotor.cz]

Na jednotku je možné dále připojit:

- 3fázový bezkartáčový motor
- zdroj napájení - napětí 36V, 48V (jednotka snese napětí až 60V a proud 22 Ah)
- regulaci plynu - možnost ovládání rukou jako u motorky, nebo palcem
- možnost připojení 3 rychlostního omezovače výkonu
- brzdové páčky s elektrickým odpojením motoru

9. Řízení

9.2. Popis řízení

Řízení bylo navrženo pomocí řídítek, která jsou upevněna na řídící tyči pomocí šroubu.

Řídící tyč, která je na rámu uchycena pomocí kluzných ložisek, je opatřena dvěma otočnými klouby se závitem. Přenos sil je zajištěn pomocí dvou závitových táhel průměru 10 mm, která jsou na opačné straně kloubově spojena s uložením kola. Pomocí těchto táhel se také provádí nastavení řízení.

Tento systém řízení je spolehlivý a jednoduchý na výrobu. Převážně se používá u hoby motokár. Nastavení sbíhavosti se provádí pomocí táhel se závitem.

Na řídítkách je dále umístěn regulátor rychlosti vozidla a dvě brzdové páky s mikropsínači pro aktivaci rekuperace, které pracují níže popsaným způsobem.

Při zamáčknutí brzdové páky dojde k sepnutí mikropsínače, který je spojen s řídící jednotkou elektromotoru. Řídící jednotka přepne elektromotor do fáze elektrogenerátoru, který vyrobenou elektrickou energii dodává do akumulátoru.

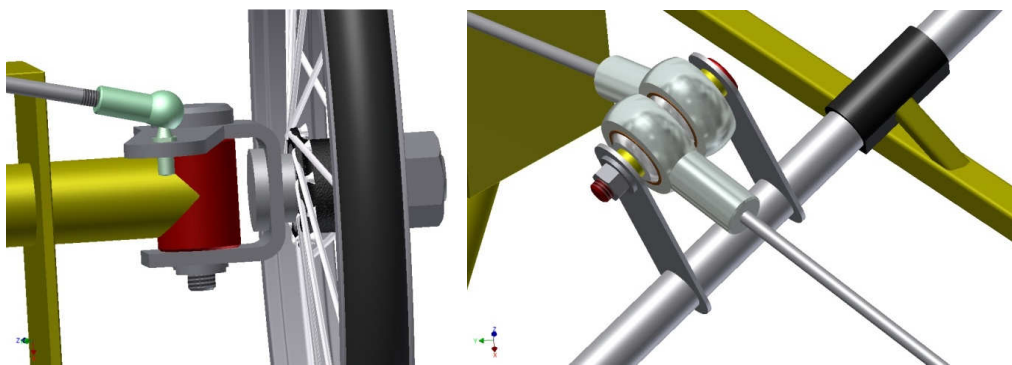


Obr. 16 - Model řízení



Obr. 17 - Ovládací prvky [www.goldenmotor.cz]

(vlevo-brzdová páka s mikropsínačem, vpravo-regulátor rychlosti)

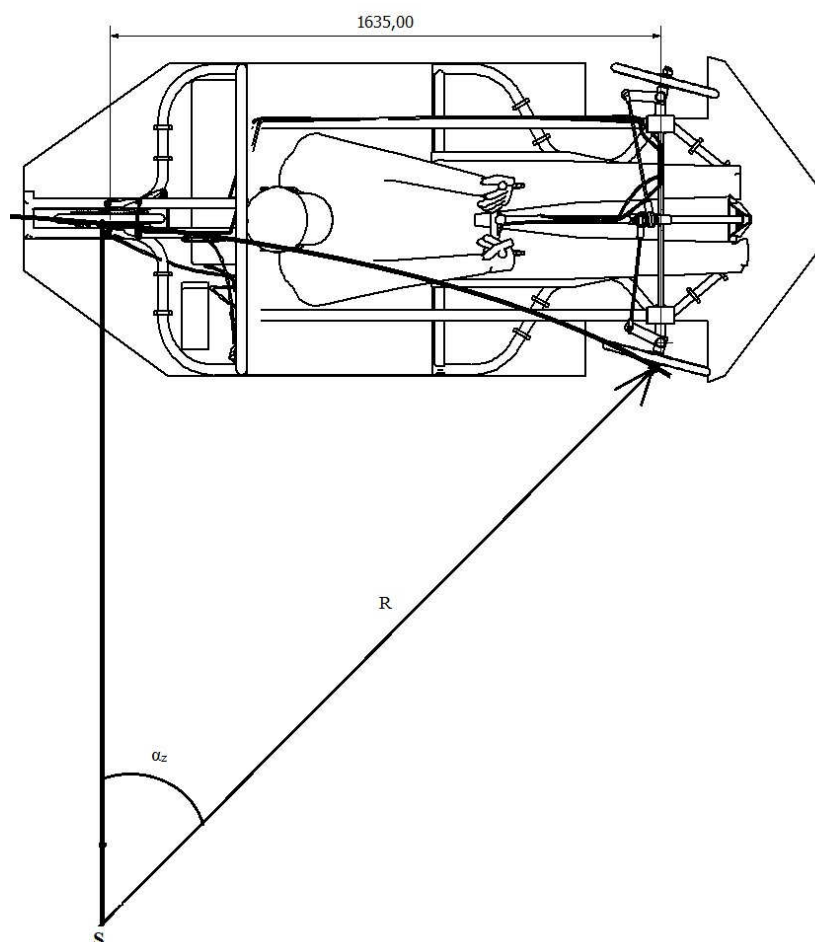


Obr. 18 - Detailní pohledy na prvky řízení

Při zatáčení se otáčí každé kolo jinou rychlostí. Tento jev je dán jiným poloměrem zatáčení každého kola. Proto je nutné brát v potaz sbíhavost kol. Úhel sbíhavosti kol je potřeba nastavit při montáži do minusových hodnot. Toto nastavení se provádí pomocí závitového táhla řízení, které je našroubováno do kulového kloubu.

9.3. Výpočet minimálního poloměru zatáčky

V pravidlech je dáno, že poloměr zatáčení musí být dostatečný, aby bylo umožněno bezpečné předjíždění a projetí veškerých zatáček na dráze. Pomocí geometrie byl vypočítán rádius zatáčky, kterou vozidlo projede při natočení kol o 15° . α_z



Obr. 19 – Schéma vozidla při zatáčení

$$\sin \alpha_z^\circ = \frac{r_k}{R} = \frac{1635}{R} \Rightarrow R = \frac{1635}{\sin \alpha_z} = 6318 \text{ mm} \quad (9.1)$$

kde:

- $\alpha_z = 15 [^\circ]$ – úhel natočení kol
- $r_k = 1635 [\text{ mm }]$ – rozvor kol
- R ...minimální poloměr zatáčky který vozidlo projede [mm]

10. Ostatní prvky

10.2. Uložení kola

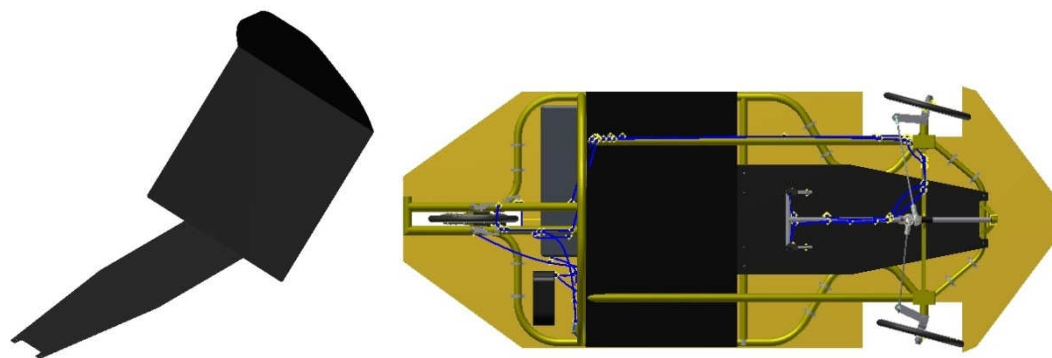
Vozidlo je postaveno na ráfku od firmy Remerx RMX21 (305x21), který je pomocí špic spojen s nábojem vlastní výroby. V náboji jsou uloženy dva kusy ložisek SKF 61804, ČSN 02 4630. Kolo je pomocí kaleného čepu průměru 20 mm uchyceno do závěsu kola a dotaženo maticí.



Obr. 20 – Schéma uložení kola

10.3. Sedadlo

Sedadlo je navrženo z plastu a v místě opěradla je opatřeno nehořlavou deskou z materiálu Sibal. Sedadlo je do rámu uchyceno pomocí samořezných vrtů.

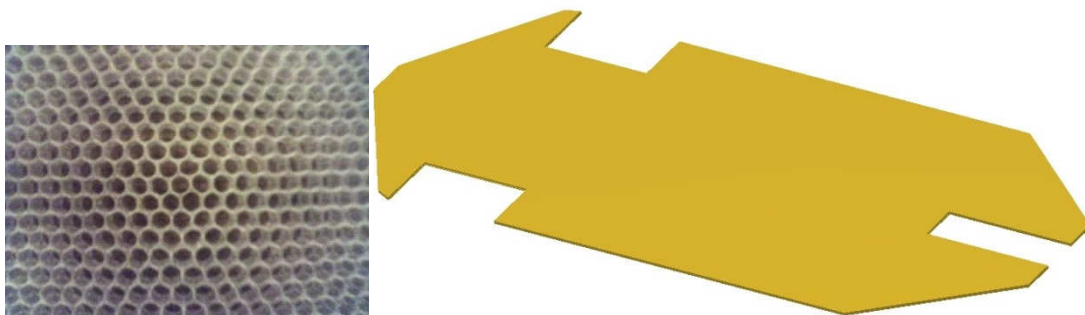


Obr. 21 – Sedadlo řidiče

10.4. Spodní voština

Na spodní část vozidla byla použita plastová PP voština s 8mm buňkami s polyesterovým flísem na povrchu od firmy Havel Composites CZ s.r.o.

Plastová voština je ekonomickou alternativou aramidových voštin. Voština má kruhové buňky o průměru 8 mm. Objemová hmotnost je 80 kg/m^3 . Tento typ má navíc pro zvýšení adheze na povrchu přitavený flís z polyesterových vláken. Voština je k rámu uchycena pomocí kruhových objímek.



Obr. 22 – Voština

10.5. Brzdový systém

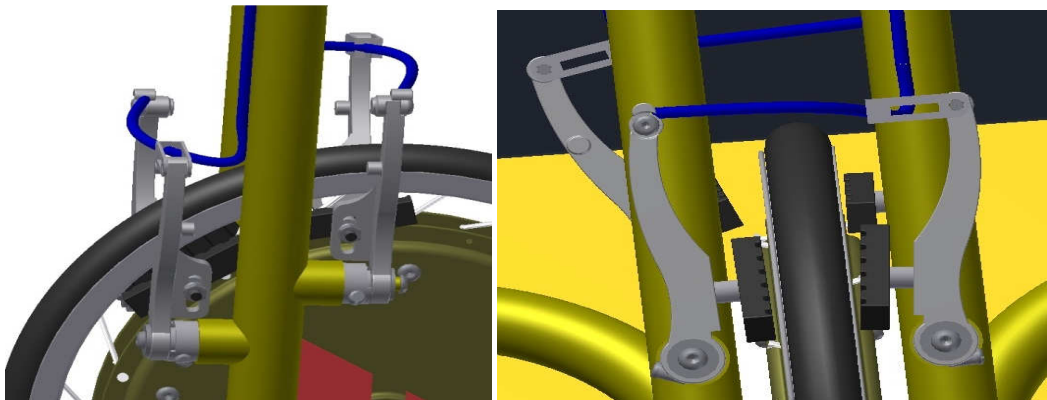
Pro bezpečné zastavení vozidla byly zvoleny čelistové brzdy typu Shimano V-brake.



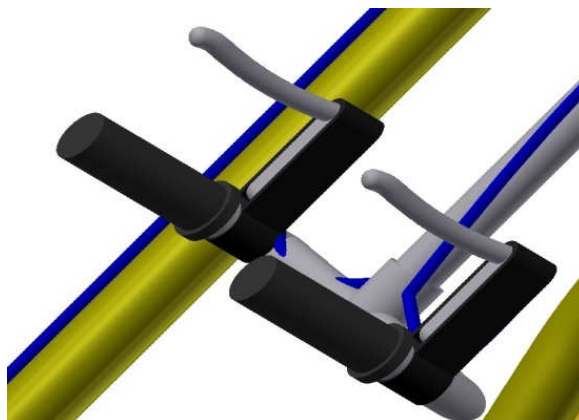
Obr. 23 – 3D model čelistové brzdy

Z počátku bylo uvažováno o volbě kotoučových brzd, ale vzhledem ke špatným zkušenostem se seřazením z minulých let byl tento nápad zamítnut. Podle pravidel je nutné, aby mělo vozidlo dva nezávislé okruhy brzd pro případ, kdyby jeden okruh selhal. Oba páry brzd byly uloženy na zadní vzpěře a brzdí tedy zadní kolo.

Ovládání brzdy bylo řešeno pomocí brzdových pák od firmy E-BikeKit, které jsou umístěny na řídítkách. Tyto brzdové páky jsou dále propojeny s řídicí jednotkou elektromotoru, která při brzdění přepne elektromotor do režimu elektrogenerátoru.



Obr. 24 – Detail umístění brzdy na rámu

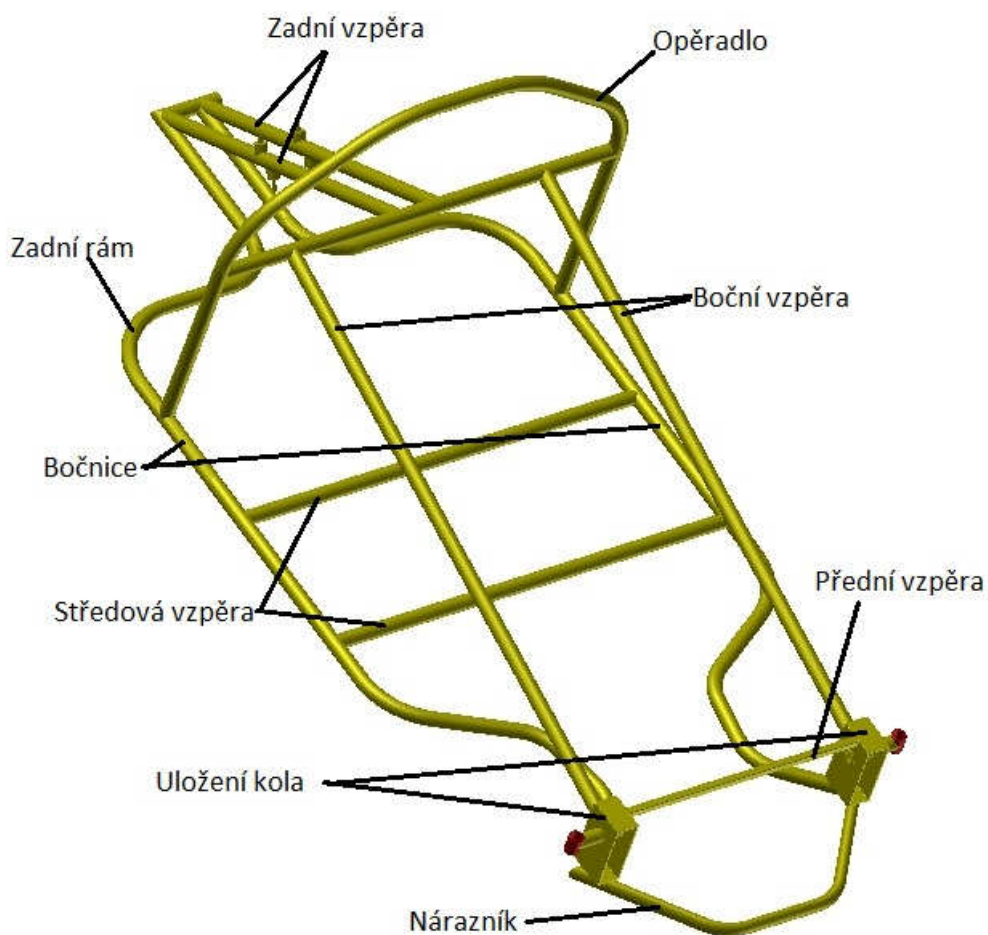


Obr. 25 – Brzdové páky

11. Konstrukce rámu

Celá konstrukce rámu byla navržena z osmi originálních dílů, které jsou k sobě přivařeny drátem Union AlMg_{4,5}MnZr.

Celková hmotnost rámu je 10,834 kg a maximální rozměry jsou výška = 0,78 m, šířka = 0,93 m, délka = 2,12 m.



Obr. 26 – 3D model rámu

12. Pevnostní výpočet rámu

Pevnostní výpočet rámu byl proveden pomocí programu Ansys workbench. Rám byl zkontrolován na nejhorší variantu zatížení a to průjezd zatáčkou na mezích adheze.

Jedná se o zatížení kola maximálním mezním zatížením. V každém směru síla představuje maximální vzniklé zatížení na mezích adheze. Jde tedy o „mezní stavy“, ke kterým ve skutečném provozu dojde pouze výjimečně. Aby se docílilo nejhoršího stavu, je zatížení zadáno vždy na jedno kolo a ostatním kolům jsou zakázány jen posuvy.

12.2. Výpočet vstupních dat pro analýzu MKP

Pro analýzu bylo potřeba vypočítat síly působící na jednotlivé nápravy při průjezdu zatáčkou. Tyto síly byly vypočteny pomocí brzdných účinků. Při výpočtu bylo zohledněno předpokládané těžiště vozidla a proto bylo počítáno s rozložením hmotnosti 40:60 ve prospěch zadní nápravy.

Výpočet sil na nápravu pomocí brzdných vlastností

Základní data pro výpočet

$m = 120 \text{ [kg]}$ celková hmotnost vozidla s řidičem

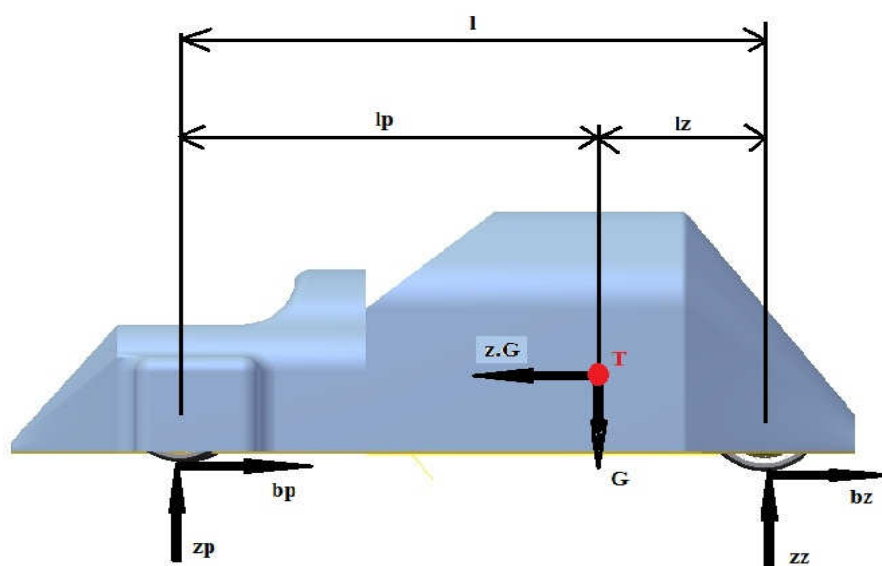
$h = 200 \text{ [mm]}$ výška těžiště vozidla

$l = 2120 \text{ [mm]}$ rozvor kol

$\varphi_{\text{pod}} = 0,9 \text{ [1]}$ součinitel adheze v podélním směru

$\varphi_{\text{př}} = 0,8 \text{ [1]}$ součinitel adheze v příčném směru

$z = \varphi_{\text{pod}} = 0,9 \text{ [1]}$ hodnota z na mezi adheze



Obr. 27 – Schéma zatížení

Maximální celková síla od tíhy auta

$$G = m \cdot g = 120 \cdot 9,81 = 1177 \text{ N} \quad (12.1)$$

Vzdálenost přední osy kol od těžiště

$$l_p = l \cdot 0,6 = 2120 \cdot 0,6 = 1272 \text{ mm} \quad (12.2)$$

Vzdálenost zadní osy kol od těžiště

$$l_z = l \cdot 0,4 = 2120 \cdot 0,4 = 848 \text{ mm} \quad (12.3)$$

Výpočet sil působících na nápravu

$$z_p = G \cdot \left(\frac{l_z}{l} + z \cdot \frac{h}{l} \right) = 1177 \cdot \left(\frac{848}{2120} + 0,9 \cdot \frac{200}{2120} \right) = 570 \text{ N} \quad (12.4)$$

$$z_z = G \cdot \left(\frac{l_p}{l} + z \cdot \frac{h}{l} \right) = 1177 \cdot \left(\frac{1272}{2120} + 0,9 \cdot \frac{200}{2120} \right) = 806 \text{ N} \quad (12.5)$$

Výpočet podélných sil působících na nápravu

$$B_{pad} = \varphi_{pod} \cdot z_p = 0,9 \cdot 570 = 513 \text{ N} \quad (12.6)$$

$$B_{zad} = \varphi_{pod} \cdot z_z = 0,9 \cdot 806 = 725,4 \text{ N} \quad (12.7)$$

Síly na jedno kolo

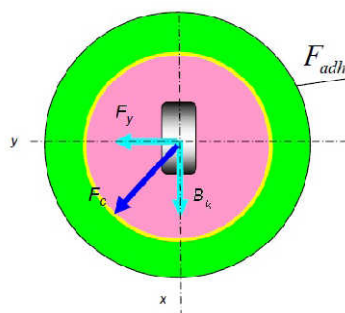
$$z_{pk} = \frac{z_p}{2} = \frac{570}{2} = 285 \text{ N} \quad (12.8)$$

$$z_{zk} = z_z = 806 \text{ N} \quad (12.9)$$

$$B_{padk} = \frac{B_{pad}}{2} = \frac{513}{2} = 256,5 \text{ N} \quad (12.10)$$

$$B_{zadk} = B_{zad} = 725,4 \text{ N} \quad (12.11)$$

Výpočet příčné síly byl proveden pomocí Kammové adhezní kružnice, která znázorňuje adhezní vlastnosti. Její průměr je úměrný mezi přilnavostí pneumatiky k vozovce (čím lepší adheze, tím je kružnice větší). Aby nedošlo ke ztrátě adheze, nesmí výslednice podélných a příčných sil F_c překročit poloměr třecí kružnice. V reálných podmínkách však mají pneumatiky větší přilnavost v podélném směru, takže skutečná Kammová kružnice má tvar elipsy.



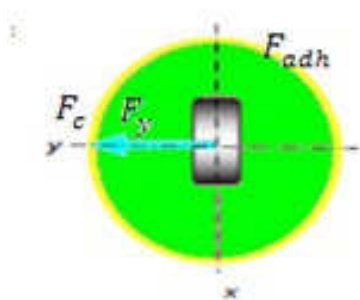
Obr. 28 – Kammova kružnice [www.cs.autolexicon.net]

$$F_{adh} \geq F_c = \sqrt{B_k^2 + F_y^2} \quad (12.12)$$

$$F_{adh} = \varphi \cdot Z_k = \sqrt{\varphi_{pod}^2 + \varphi_{pr}^2} \cdot Z_k \quad (12.13)$$

Kde:

- F_y ...boční vodící síla kola [N]
- B_k ...brzdňá síla na kolo [N]
- Z_k ...radiální reakce kola [N]



Obr. 29 – Kammova kružnice pro průjezd zatáčkou bez brzdění [www.cs.autolexicon.net]

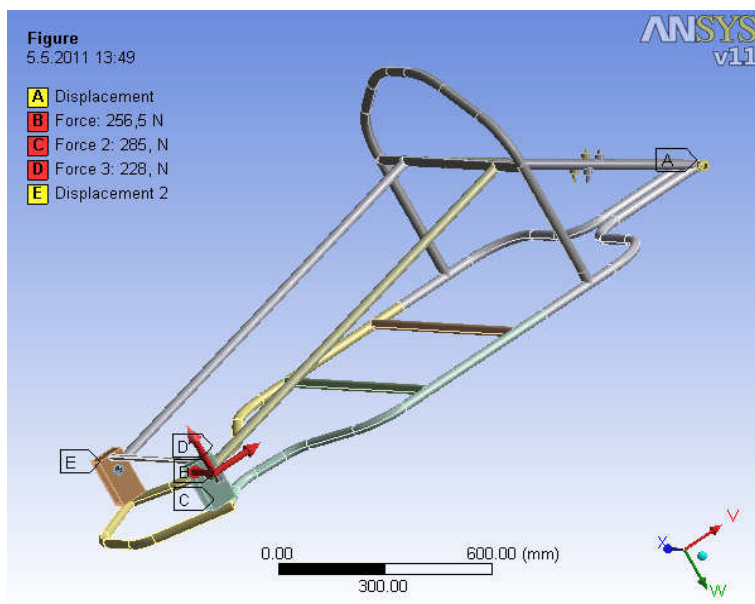
Pro stanovení maximální příčné síly bylo uvažováno s příkladem mezní stability při jízdě v zatáčce bez brzdění.

$$\text{Pak tedy: } F_{adh} = F_c = F_y \quad (12.14)$$

$$F_y = \varphi_{pr} \cdot Z_{pk} = 0,8 \cdot 285 = 228 \text{ N} \quad (12.15)$$

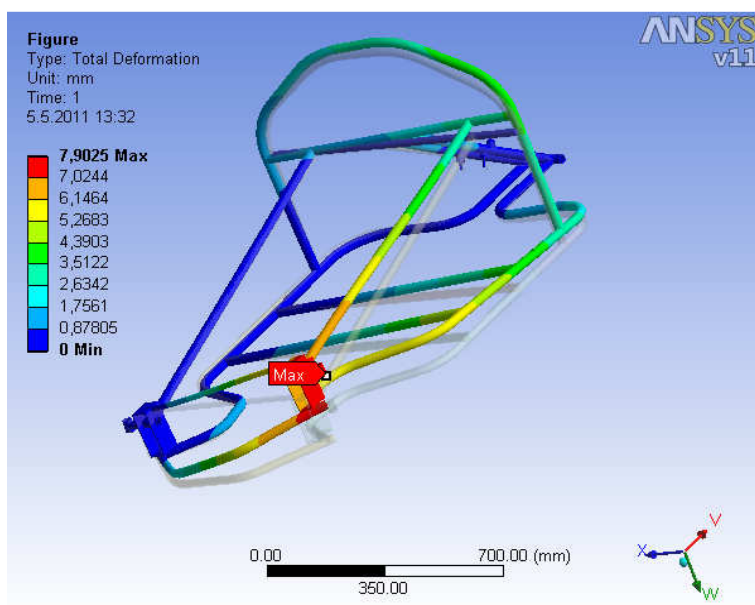
12.3. Výsledky výpočtu rámu pomocí MKP

V programu Ansys workbench byl nasimulován průjezd zatáčkou. Bylo zadáno vždy zatížení na jednu nápravu a ostatním nápravám byly zakázány posuvy. Okrajové podmínky jsou znázorněny na obr. 30.



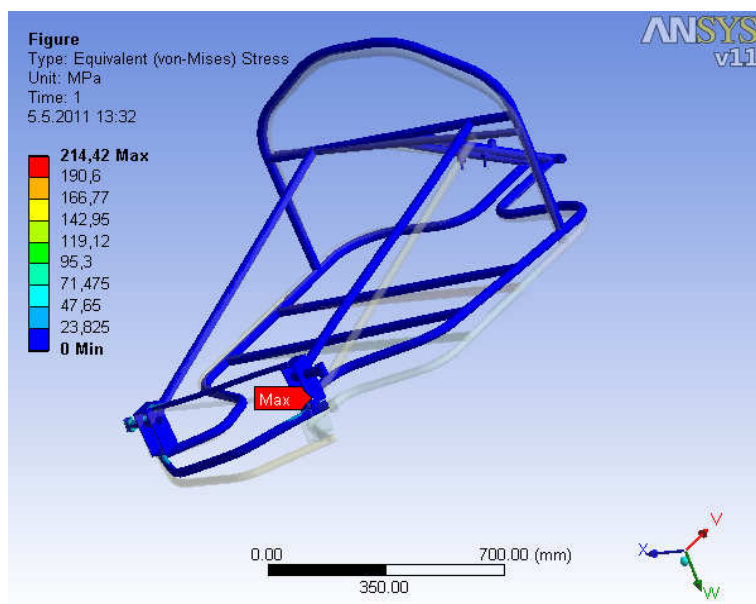
Obr. 30 – Zadané okrajové podmínky

Pro znázornění bylo vybráno přední kolo, které je v zatáčce nejvíce namáháno. Při zatížení předního kola vypočtenými silami byl zjištěn maximální průhyb v místě uložení kola, který činil 7,9025 mm



Obr.31 – Celková deformace rámu

Maximální redukované napětí podle metody HMH bylo vypočteno v místě uchycení zavěšení kola k rámu a činilo 214 MPa. Což je vzhledem k mezi kluzu materiálu, která činí 240 MPa vysoká hodnota, ale ve výpočtu nebyly zahrnuty svary, které zvětšují stykovou plochu. Dále nebyly zahrnuty ostatní části karosérie jako je voština, sedadlo a kryt, které se budou vysokou mírou podílet na velikosti celkového průhybu a maximálního napětí.

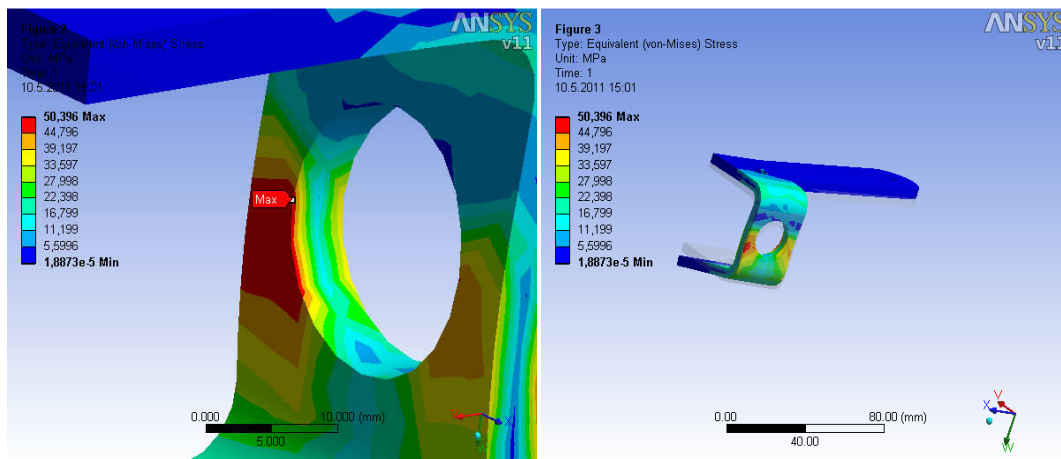


Maxim

Obr. 32 – Redukované napětí podle metody HMH

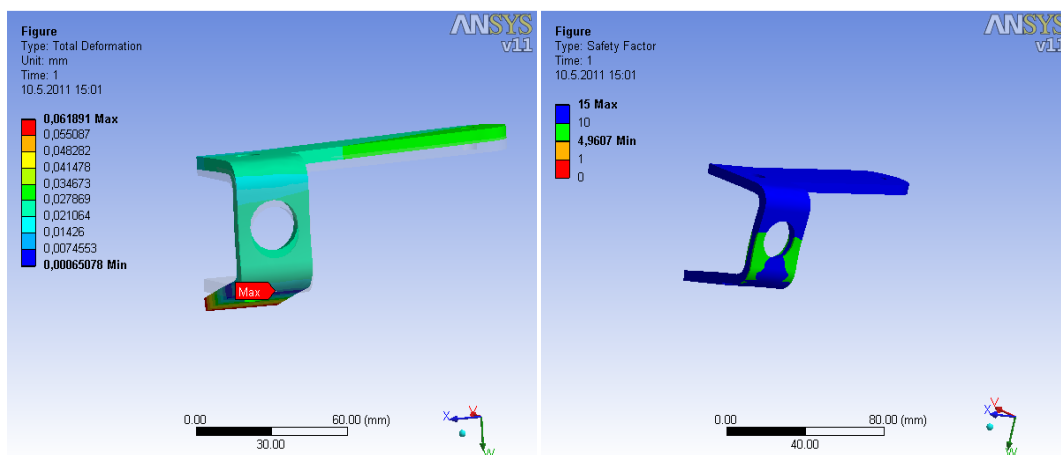
12.4. Výsledky výpočtu závěsu kola pomocí MKP

Pomocí programu Ansys workbench byl nasimulován průjezd zatáčkou na mezi adheze a vypočteno maximální redukované napětí podle metody HMH na závěsu předního kola. Maximální napětí se nachází na vnitřní straně díry pro hřídel kola viz. Obr. 33 a činí 50,396 MPa.



Obr. 33 – Redukované napětí závěsu kola

Dále byl proveden výpočet celkových deformací. Maximální celková deformace byla 0,061mm



Obr. 34 – Celková deformace závěsu kola

Zavěšení kola je vyrobeno z oceli 11 500. Hodnota meze kluzu pro tuto ocel je 245 MPa. Z toho plyne, že závěs kola je dostatečně pevný a vydrží maximální zatížení, které vzniká při průjezdu zatáčkou s minimální bezpečností 4,9.

13. Závěr

V této diplomové práci bylo mým úkolem navrhnout závodní vozidlo typu prototyp pro Shell Eco-Marathon. Jako první jsem si zjistil informace o závodě a o okruhu na kterém se tento závod jezdí. Zvolil jsem zdroj energie materiál a profily, ze kterých bude sestaven rám.

Po sestavení byl rám podroben analýze pomocí metody konečných prvků. Pevnostní analýzy byly simulovány na rámu pro nejhorší variantu a to průjezd zatáčkou na mezi adheze. Výsledná bezpečnost rámu se pohybovala na hranici 1,2. Ve skutečnosti bude celková tuhost rámu a bezpečnost větší z důvodu dalších prvků karoserie a svarů, které nebyly do simulace zahrnuty. Dále byla provedena pevnostní analýza závěsu kola, u něhož se minimální bezpečnost při průjezdu zatáčkou pohybovala na hodnotě 4,9. V dalším kroku bylo navrženo řízení vozidla a zvoleny komponenty pro pohon.

Po dokončení všech potřebných výpočtů a návrhů jsem vypracoval výkresovou dokumentaci. Podle zadání jsem vypracoval sestavný výkres závodního vozidla viz. příloha. Sestava SN2KIV01-DP-S01, svařenec rámu viz. příloha svařenec SN2KIV01-DP-S02 a výrobní výkres náboje předního kola viz příloha Náboj SN2KIV01-DP-03. V seznamu položek jsou uvedeny také čísla výkresů ostatních vyráběných dílů, aby bylo jasné, že tyto díly potřebují samostatnou výkresovou dokumentaci, i když jejich výkresy nejsou součástí diplomové práce.

Tato diplomová práce pro mě byla přínosem, protože jsem si rozšířil znalosti v oblasti silničních vozidel a alternativních zdrojů energie. Myslím si, že vodík je energie budoucnosti a každým podobným projektem se přibližujeme k jeho zavedení do běžného života.

14. Seznam odborné literatury

[1] MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy I. 2.* Přepř.vyd. Bratislava: Alfa Bratislava, 1990. 213s., ISBN 80-05-00302-7.

[2] LEINVEBER, Jan., VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření.* 1. vydání. Úvaly: ALBRA, 2003. 866 s.
ISBN 80-86490-74-2

[3] VLK, F. *Dynamika silničních vozidel.* 2. Vyd. Brno: F. Vlk, 2003. 432s., ISBN 80-239-0024-2.

[4] *HydrogenIX official webside.* [online]. [cit. 2010-10-15].

Dostupné z: www.shell.com/eco-marathon

[5] *Havel-Composites* [online]. 2010 [cit. 2011-05-11]. Voštiny. Dostupné z WWW: <<http://www.havel-composites.com/shop/64-Sendvicove-materialy-Vostiny/0-list.html>>.

[5] *Goldenmotor* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Elector-Stavby elektrokol. Dostupné z WWW: <www.goldenmotor.cz>.

[6] *Oficial rules* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Oficiální pravidla Shell Eco-marathon. Dostupné z WWW:

<http://www.static.shell.com/static/ecomarathon/downloads/2011/global/SEM_Rules_2011_Final.pdf>.

[7] *Moto-svět* [online]. 2009 [cit. 2011-05-11]. Eurospeedway Lasitz. Dostupné z WWW: <<http://www.moto-svet.cz/okruhy-a-historie/autodromy/eurospeedway-lausitz-atraktivni-okruh-nedaleko-za-hranicemi.html>>.

[8] *Southamptonengineering* [online]. 2010 [cit. 2011-05-11]. Roud to the Shell Eco-marathon 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.southamptonengineering.com/>>.

[9] Vod%C3%ADk. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 13.8.2003, last modified on 18.3.2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>>.

[10] Elektřina.cz [online]. 20.4.2010 [cit. 2011-04-19]. Palivové články. Dostupné z WWW: <<http://www.elektrina.cz/clanek-74-palivove-clanky>>.

[11] SEDLÁK, Josef . *Konstrukční návrh modulárního systému přípravků pro dynamické zkoušení materiálu a automobilových konstrukčních uzlů*. Ostrava, 2010. 123 s. Diplomová práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava.

15. Seznam příloh

Příloha č. 1 SN2KIV01-DP-S01 Sestava

Příloha č. 2 SN2KIV01-DP-S02 Svařenec

Příloha č. 3 SN2KIV01-DP-03 Náboj